

СИСТЕМА ЦИФРОВОГО КЕРУВАННЯ РОЗМОТУВАННЯМ РУЛОНА ДРУКАРСЬКОГО МАТЕРІАЛУ З ДВИГУНОМ ПОС- ТІЙНОГО СТРУМУ

Для розгону і розмотування рулонів друкарського матеріалу з заданими швидкостями V_c та силами натягу F_c смуг цього матеріалу пропонується застосовувати електроприводи постійного струму, здатні формувати необхідні рушійні та гальмівні сили F_R на периферії рулонів та F_m на периферії циліндрів смугоприймальних механізмів. Наводяться алгоритми регулювання V_R і V_M та F_R і F_M , структурні схеми систем цифрового керування (СЦК) електроприводами S_m і R , та програма і результати їх цифрового структурного моделювання.

For an acceleration and unwinding of rolls of the printed matter with the set speeds of V_c and forces of natyagu of F_c of bars of this material it is suggested to apply the electromechanics of direct-current, capable to form necessary motive and brake forces of F_R on periphery of rolls and F_m on periphery of cylinders of smugopriymal'nikh mechanisms. The algorithms of adjusting of V_R and V_M and F_R and F_M are pointed, flow diagrams of the systems of digital management (DDM) of See and R electromechanics, and program and results, them digital structural design.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ І ПРИНЦИПИ РОЗРОБКИ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО КЕРУВАННЯ МЕХАНІЗМАМИ РОЗМОТУВАННЯ РУЛОНІВ ДРУКАРСЬКОГО МАТЕРІАЛУ

Застосовувані в друкарських машинах гальмівні, переважно механічні, засоби рулонів та недостатньо точні електроприводи тягнучих смугоприймальних механізмів (секцій) не здатні забезпечувати заправку смуг із стабілізацією бажаних сил натягу F_c і лінійних швидкостей руху V_c . В деяких розмотувальних механізмах використовуються для регулювання F_c електричні двигуни на валах рулонів, які працюють лише в режимі динамічного гальмування, та з ручним регулюванням їх гальмівного струму і F_R .

Для всіх друкарських, особливо високошвидкісних та багатодвигунних, машин необхідні високоточні електроприводи постійного або змінного струму смугоприймальних механізмів, які повинні стабілізувати V_m і F_m на периферії їх циліндрів, а також електропри-

¹ Українська академія друкарства

води на валах рулонів для їх розгону та для автоматичного збільшення або зменшення V_R та знаку і величини F_R на периферії рулонів з метою стабілізації V_R і різниці $(V_M - V_R)$, від якої залежить F_c :

$$F_c(s) = K_{CF}(s) * (V_M(s) - V_R(s)) / (T_{CF}(s)S + 1), \quad (1)$$

де $K_{CF}(s) / T_{CF}(s)$ - коефіцієнт передачі і стала інерції смуги, залежні від $V_c(s)$ [2].

Стабільність V_M і V_R може бути забезпечена з похибкою $\pm(0,3 \div 0,5)\%$ лише за допомогою високоточних СЦК електроприводами СМ і R. Однак, і ця похибка та нестабільність K_{CV} , який залежить від модуля пружності E_0 матеріалу і площі Q_c поперечного перетину смуги та швидкості V_c ($K_{CV} = E_0 * Q_c / V_c$), може призводити до значної зміни F_c та видовження ΔL_c смуги або її надмірного натягу. Використовувані рухомі валики В, що натягують смугу (рис. 1), сприяють стабілізації їх F_c , однак не захищають від недопустимої її величини та обтяжують заправку смуг.

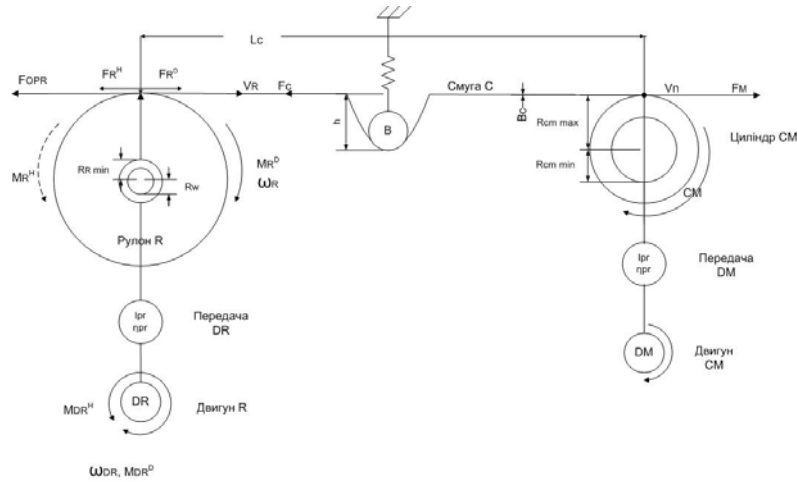


Рис. 1. Кінематична схема розмотувального механізму

Іноді валики з потенціометричними резисторами використовуються в електроприводах СМ як давачі F_c . Менш інерційні і безконтактні селісинні давачі видовження смуг (без натягуючих валиків) застосовувались в електроприводах картонно- і папероробних машин більш як 50 років тому, бо аналогові засоби керування, в т.ч. АОМ, не були здатними точніше обчислювати F_c за складними алгоритмами. Не знайшли широкого застосування тензометричні, магнітоанізотропні та інші давачі моментів на валах механізмів.

В даний час найбільш швидко і точно можна визначати F_M і F_R за моментами M_{cm} і M_R на валах C_m і R і за радіусами R_{cm} і R_R , а моменти M_{cm} і M_R – обчислювати за величиною електромагнітних моментів двигунів C_m і R з врахуванням втрат цих моментів в двигунах і в передачах, та з врахуванням динамічних моментів M_{jm} і M_{jR} в перехідних процесах [1,4]. Радіуси розмотуваних рулонів RR можуть обчислюватись за частотою обертання їх двигунів і за товщиною смуги V_c з врахуванням статистичного обґрунтованого коефіцієнта щільності її намотування K_H [3]. Отже, для функціонування СЦК двигунами постійного струму зі стабілізованими магнітними потоками достатня лише інформація про миттєві значення напруг і струмів живлення якорів та частот обертання двигунів.

Поряд з регулюванням F_M і F_R необхідно регулювати V_M і V_R . Завершений теоретично в УАД синтез СЦК намотувальних вузлів рулонних друкарських машин [2,3] підтвердив достатньо точну стабільність F_c при регулюванні лише V_R в функції V_c стрічкоживильної смуги за виразом:

$$F_R(t) = F_c(t) * (1 - \frac{F_c(t)}{F_{cr}(t)}), \quad (2)$$

де $F_{cr}(t) = E_c * Q_c(t) / F_c(t) = Kcv(t)$

Підтверджена також ефективність регулювання F_{HB} на периферіях намотуваних бобін і F_c стрічок за умовою застосування регуляторів V_{HB} , підпорядкованих регуляторам F_{HB} .

2. СТРУКТУРНІ СХЕМИ І МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ СЦК C_M І R

Враховуючи вище наведене, нами розроблені структурні схеми СЦК електроприводами постійного струму C_m і R (рис. 2). В схемах застосовані інерційні задавачі і ПІ-регулятори F_M і F_R , підпорядковані їм ПІ-регулятори V_M і V_R і ПІ-регулятори якірних струмів DM і DR . Вихідні напруги регуляторів струмів керують тиристорними або транзисторними джерелами живлення інерційних якірних кіл двигунів. Моменти на валах двигунів, їх ККД та сили F_M і F_R обчислюються підпрограмами Procedure WTRATD. Моменти опору M_{OPM} і M_{OPR} визначаються за $F_{OPR} \approx F_c$, а F_c – за (1). Частоти обертання двигунів визначаються за рівняннями руху, наведеними в схемах на рис.2. Радіус рулона R_R обчислюється в схемі і в програмі моделювання (табл. 1) за N_{DR} ($N_{DR} = \omega_{DR}$), V_c і K_H через НТ. За R_R визначаються сумарний момент інерції J_{SR} рулона, його двигуна DR і редуктора. Динамічний момент двигуна рулона дорівнює

$$J_{SR} \frac{d\omega_{SR}}{dt} + \frac{dJ_{SR}}{dt} + \frac{\omega_{SR}^2}{\epsilon}$$

В схемах відображені передавальні функції всіх елементів СЦК, за якими через НТ (0,001÷0,0001 с) визначаються їх вихідні величини при фіксованих значеннях вхідних величин з попереднього такту обчислень.

Наведена в схемі і в програмі моделювання (табл. 1) функція $\text{sign}(DDVC)$, де $DDVC = \Delta VC - \Delta VCZ$, $\Delta VCZ = VMZ - FRZ$, змінює знак $F_R(0, +FR, -FR)$, а функція $f_1(\Delta VC)$ враховує відсутність натягу смуги ($F_c=0$), якщо $V_R \geq V_M$. Функція $f_2(\Delta VC)$ використовується для врахування сили тертя в валу рулона і передачі, яка сприяє його гальмуванню. Двигун рулона в період розгону до заправочної швидкості V_{ZR} (0,2÷0,3 м/с) працює в двигунному режимі, забезпечуючи необхідну інтенсивність розгону рулона $dV_R/dt \approx dV_M/dt$ (згідно (2)). Після заправки і в періоди подальшого розгону і розмотування рулона з $V_M \approx V_{MZ} \approx \text{const}$ (2,5; 5 або 10 м/с) двигун DR працює в двигунному режимі, якщо V_R менша необхідної $V_R(t) = V_M(t) * (1 - \frac{F_{cv}(t)}{E_{cv}(t)})$, і в генераторному гальмівному режимі, якщо V_R більша цієї $V_R(t)$. Для стабілізації $F_c=F_{cz}$ при збільшенні V_M $\Delta VC(t)$, що дорівнює $V_M(t) - V_R(t)$, повинна збільшуватися, оскільки $E_{cv}(t) = E_0 Q_c(t) / V_M(t)$ зменшується. Наприклад, якщо модуль пружності матеріалу $E_0=4 \cdot 10^8$ Н/м²,

$Q_c = V_c * L_R = 0,0001 * 1 = 0,0001$ м² $\approx \text{const}$, $V_M=5$ м/с і $E_{cv} = 8000$ Н*с/м, то для стабілізації $F_{cz}=200$ Н ΔVC повинна дорівнювати $F_{cz}/E_{cv}=0,025$ м/с. Якщо ж $V_M=10$ м/с, то $E_{cv}=4000$ Н*с/м, а $\Delta VC=0,05$ м/с і $V_R=9.95$ м/с. В програмі моделювання СЦК СМ і R ці значення F_c , V_M і V_R прийняті такі ж, як базові і номінальні: $F_{CN}=200$ Н, $V_{MN}=V_{CN}=10$ м/с, $V_{RN}=9.95$ м/с і $E_{CVN}=4000$ Н*с/м. Ці ж значення F_c , V_M і V_R з індексом z можуть бути змінені на інші (табл. 1).

Інерційні задавачі на входах СЦК СМ і R можуть задавати напруги, пропорційні F_M і F_R або V_M і V_R , якщо регулятори F_M і F_R заблоковані. Сталим інерції задавачів T_{ZM} і T_{ZR} присвоєні орієнтовно різні значення (наприклад 10 і 1 с), оскільки сумарний максимальний момент інерції привода рулона $J_{SRmax} \approx 30$, а $J_{CM} \approx 6$ кгм² і розгін СМ необхідно сповільнювати, а рулона – прискорювати з метою забезпечення $\frac{dV_R}{dt} = \frac{dV_M}{dt}$. Допустимо в періоди розгонів СМ і R формувати вихідну напругу задавача $V_R(t)$ в функції вхідної напруги задавача V_{MZ} , тобто при $T_{ZR} \rightarrow 0$. В період розгону до заправ очних V_{ZM} і V_{ZR} $F_{OPR}=0$, а $F_R = M_{DRmax} * I_{PR} * \eta_{PR} / R_{Rmax}$ і $M_{DRmax} \approx M_{JDR}$

Пропорційно-інтегральний закон функціонування регуляторів F_M і F_R прийнятний, якщо $F_M=F_c$, обчислюваної за (1), а $F_R \approx 0,1 F_c$.

Якщо ж F_M і F_R обчислюються підпрограмою Procedure WTRATD за електромагнітними моментами і їх втратами в двигунах і передачах, то регулятори F_M і F_R повинні функціонувати за I-законом.

Регулятори V_M , V_R , I_{DM} і I_{DR} функціонують за ПІ-законом. Закони функціонування і параметри регуляторів (коефіцієнти K_R і сталі інтегрування T_R) визначені методами теорії систем підпорядкованого регулювання (СПР) електроприводів. Коефіцієнти зворотних зв'язків за регульованими координатами (F , V і I_D) приймаються величиною U_{RN}/X_{max} , де $U_{RN}=10$ В, а X_{max} – максимальне значення координати. Параметри K_{RF} і T_{IRF} регуляторів F_M і F_R залежать від E_{CV} , а, отже, від E_0 , Q_C і V_C смуг (2). Ці параметри необхідно змінювати при зміні матеріалу, товщини і ширини смуги, а також при зміні V_{CZ} . Коефіцієнт передачі K_{RV} регулятора V_R пропорційний J_{SR}/R_R . В процесі розмотування рулону R_R зменшується в 10 разів, а J_{SR} наближено в 1000 раз (табл. 1), тому адаптація K_{RVR} і T_{IRVR} обов'язкова.

Для моделювання СЦК $С_M$ і R прийняті двигуни з номінальними потужностями 2,8 і 1 кВт та, відповідно, з частотами обертання 157 і 314 рад/с. Двигуни забезпечують величини $F_M=(200\div 300)$ Н, $F_R\approx 0,1F_M$ і $V_M=(10\div 15)$ м/с при передавальних коефіцієнтах редукторів $I_P=1,5$. Числові значення інших параметрів двигунів циліндра $С_M$, рулону R і смуги C наведені в списку const програми моделювання СЦК (табл. 1).

Для визначення параметрів регуляторів СЦК $С_M$ і R нами отримані наступні формули. Для ПІ-регуляторів якірних струмів двигунів: $T_{1RI} = 2T_A \cdot K_{TF} K_{ZI} / R_{jc}$, де $T_A \approx 0,005$ с – незкомпенсована стала інерції (ТП); $K_{ZI} = U_{RN} / I_{Dmax}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку для за струмом якоря двигуна; $U_{RN}=10$ В; $I_{Dmax}=(2\div 3)I_{DN}$; $K_{TP}=U_{TPN}/U_{RN}$; R_{jc} – опір якірного кола ТП-Д; $T_{2RI}=T_{jc}$; $K_{RI}=T_{2RI}/T_{1RI}$. Для ПІ-регуляторів V_M і V_R :

$$T_{1RV} = 4T_A \cdot C_{ZD} \cdot R_{max} \cdot K_{ZV} / (J_{Smax} \cdot I_P \cdot K_{ZI}),$$

де $C_{ZD} = (U_{DN} - I_{DN} \cdot R_j) / \omega_{DN}$; R – радіус циліндра $С_M$ або рулону R ; I_P – передавальне число редуктора; j_S – сумарний момент інерції привода $С_M$ або R ; $K_{ZV}=U_{RN}/V_Z$; $T_{2RV}=8T_{\mu}$; $K_{RV}=T_{2RV}/T_{1RV}$.

Для ПІ-регулятора F_C , обчислюваної за (1):

$$T_{1RF} = 8T_{\mu} K_{CV} \cdot K_{ZF} / K_{ZVC}, \text{ де } K_{CV} = E_{CV} = E \cdot Q_C / V_{CZ};$$

$$K_{ZF} = U_{RN} / F_{CZ}; K_{ZVC} = U_{RN} / \Delta V_{CZ}; T_{1RF} = T_{CV}; T_{CV} = L_C / V_{CZ};$$

$$K_{RF} = T_{1RF} / T_{1RF}.$$

Для I-регуляторів F_M і F_R , обчислюваних за електромагнітними моментами двигунів підпрограмою WTRATD:

$$T_{1RF} = 8T_{\mu} \cdot K_{ZF} \cdot I_D^2 \cdot \eta_D \cdot \eta_P / (R^2 \cdot K_{ZV}), \text{ де } n_D \text{ і } n_P - \text{К.К.Д.}$$

двигуна і редуктора.

Адаптацію регуляторів до змін особливо нестабільних радіуса і моменту інерції рулона та V_M і V_R доцільно здійснювати через п-тактів (пНТ) функціонування СЦК за допомогою коефіцієнтів корекції K_R і T_{1R} . Коефіцієнт корекції T_{1RVR} наступний:

$$K_{T1RV} = R_R * J_{SRmax} / (R_Rmax * J_{SR})$$

3. ПРОГРАМА І ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ЦИФРОВОГО СТРУКТУРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОЗГОНУ СМ І R, ЗАПРАВКИ І РОЗМОТУВАННЯ СМУГИ С

Програма моделювання СЦК розмотування рулону наведена в таблиці 1. Const mc masiv містить сталі числові параметри S_m , R і смуги S та всіх елементів СЦК. В масиві var mv наведені ідентифікатори вхідних і вихідних величин та змінних параметрів цих елементів. В інформаційній частині програми описані алгоритми function sign(x), F1R(x) і F2R(x) і підпрограм Procedure SAR2 (інтегральної ланки), SAR3 (інерційної ланки), SAR4 (ПІ-ланки), SAR14 (ланки «сухе тертя»), SAR17 («обмеження вихідної величини») і Procedure WTRATD (обчислення моментів, К.К.Д. двигунів і сил F на периферії циліндра і рулону).

В директивній частині програми присвоєні початкові значення var параметрам і застосовані оператори визначення вхідних напруг інерційних задавачів заданих значень V_{MZ} , V_{RZ} , F_{MZ} і F_{RZ} , та оператори виклику підпрограм функціонування цифрових задавачів (SAR3), ПІ-регулятора (SAR4) і І-регуляторів F_M і F_R (SAR2), ПІ-регуляторів V_M і V_R (SAR4) та ПІ-регуляторів I_{DM} і I_{DR} (SAR4). Аналогові інерційні ТРМ і ТРР та якірні кола DM і DR моделюються підпрограмою SAR3 з миттєвим значенням фактичних вхідних і вихідних їх величин.

В підпрограмі SAR4 ПІ-регулятори функціонують за $W(S) = (T_{2R}S + 1) / T_{2R}S$, де $T_{2R} = T_{1R} * K_R$ підпрограмою WTRATD обчислюються миттєві значення електромагнітних моментів M_e , К.К.Д. моментів на валах DM і DR і сил F_M і F_R .

Операторами присвоєння обчислюються миттєві значення моментів тертя M_{TM} і M_{TR} , моментів опору M_{OPM} і M_{OPR} , радіуса рулону R_R та сумарного моменту інерції J_{SR} двигуна редуктора і рулона.

Підпрограмою SAR2 визначаються миттєві значення N_{DM} і N_{DR} в рад/с. За N_{DM} і N_{DR} визначаються V_M і V_R , $DVC = V_M - V_R$, $DDVC = DVC - DVCZ$, а підпрограмою SAR3 обчислюється F_c згідно (1). Обчислення вхідних і вихідних величин всіх елементів СЦК здійснюється циклічно через інтервал часу $HT = 0,001$ с і до тих пір, поки

R_R не зменшиться до $R_{Rmin}=0.05$ м. Час розмотування рулона визначається оператором $T:=T+HT$, а кількість тактів – оператором $D:=D+1$. Через $D=D0$ виводяться проміжні результати обчислень основних координат: $T_{вс}$, U_{JM} і U_{JR} , I_{JM} і I_{JR} , F_M і F_R , V_M і V_R та R_R .

Моделювання розмотування рулону здійснено без регуляторів F_c , F_M і F_R (вони заблоковані) з задавачами, які формують напруги задання, пропорційні V_M і $V_R = V_{Rf} \left(1 - \frac{V_{Mz}}{V_{Rz}}\right)$, з інтенсивністю їх зростання до $V_M = 10$ м/с і до $V_{Rz} = 9.95$ м/с при $F_{Mz} = 200$ Н і $F_{Rmax} = \pm 0.1 F_M$. Ця інтенсивність залежить від T_{ZM} і T_{ZR} та від $J_{SM}=6$ кгм² і $J_{SRmax}=30$ кгм². В період розгону C_M і R після заправки смуги важливо досягти $\frac{dV_R}{dt} = \frac{dV_{Rf}}{dt}$ і стабільність F_c , обчислюваної за (1).

Програма моделювання може функціонувати з задавачами F_M і F_R і з І-регуляторами F_M і F_R , обчислюваних підпрограмою WTRATD, а також з ПІ-регулятором лише F_c в СЦК приводами C_M і R за умови, що $V_c=V_M=V_{Mz}$ і $F_M=F_c$. При тому регулятори V_M і V_R блокувати не потрібно.

Двигун рулону розганяє його до заправочної швидкості V_{ZR} і після цього може сприяти збільшенню V_R , якщо $\Delta V_c > \Delta V_{cz} * V_c / V_{cz}$, або зменшенню V_R , якщо $\Delta V_c < \Delta V_{cz} * V_c / V_{cz}$. Для зміни двигунного режиму на гальмівний генераторний необхідно відповідно зменшити U_{TPR} і залежну від неї частоту обертання ідеального х.х. No DR. З метою форсованого гальмування або прискорення руху рулону допустимо використовувати короткотривало максимальний якірний струм DR ($\pm 3I_{DRN}$), тобто і $M_{DRmax}=\pm 3M_{DRN}$.

Цифровим моделюванням встановлено: нерозмотаний рулон розганяється до заправочної $V_{ZR} = 0,2$ м/с двигуном DR з максимальним моментом біля 20 Нм за, наближено, 2 сек, а циліндр C_M – двигуном DM з номінальним моментом біля 20 Нм – за наближено 1,5 с.

Сповільнити розгін C_M , а отже і інших секцій PPM, можна, збільшивши T_{ZM} . Розгін C_M і R до $V_{Mz} = 10$ м/с і $V_{Rz}=9.95$ м/с після заправки смуги здійснюється, в основному, двигуном DM, C_M з небажаними коливаннями швидкостей руху і сил натягу смуги, оскільки момент інерції рулона максимальний ($J_{Rmax}\approx 70$ кгм² а $J_{SRmax}\approx 30$ кгм²), а момент DR обмежений за величиною. Збільшувати потужність DR 1 кВт не бажано. Тому краще сповільнити розгін C_M , збільшивши сталу інерції T_{ZM} задавача СЦК C_M .

В періоди розгонів C_M і R до V_{Mz} і V_{Rz} вигідніше керувати рухом менш інерційного C_M (зі стабільним J_{CM} і $J_{SM}\approx 6$ кгм²) за формулою «слідкування»: $V_{CM}(t) = V_R(t) * \left(1 + \frac{J_R(t)}{2J_{CM}(t)}\right)$. Однак, після досягнення

$V_M=V_MZ$ ця швидкість повинна бути стабілізованою, як «ведуча» для наступних секцій РРМ, а V_R необхідно регулювати за формулою (2). Формула (2) прийнятна для окремих розмотувальних і намотувальних механізмів, в т.ч. розрізувальних.

Підлягає ще дослідженню цифровим моделюванням функціонування СЦК СМ і R з регуляторами F_M і F_R , та з регулюванням прискорень dV_M/dt і dV_R/dt в періоди розгону.

4. ВИСНОВКИ

З метою автоматизації розгонів СМ і R, заправки і розмотування смуг із стабільними їх силами натягу та швидкостями руху пропонується застосовувати допоміжні електроприводи рулонів, здатні їх розганяти до заправочних швидкостей смуг, а після заправки забезпечувати додаткові до моментів смугоприймальних механізмів рушійні або гальмівні моменти та сили на периферії рулонів.

Розроблені і описані в статті СЦК СМ і R можуть функціонувати лише з регуляторами швидкостей руху смуги на периферії циліндрів СМ і рулона, вигідними для режимів розгону, або додатково до цих регуляторів – з регуляторами сил натягу на периферіях циліндрів і рулонів, обчислюваних за електромагнітними моментами підпрограмами WTRATD. Важливо при тому стабілізувати з високою точністю швидкість руху СМ, як «ведучої» для інших секцій РРМ.

В статті структурно і параметрично синтезовані СЦК СМ і R з номінальними (базовими) силою натягу смуг 200Н і швидкістю їх руху на периферії циліндра СМ 10 м/с, та з двигунами СМ потужністю 2,8 кВт і рулону 1 кВт. При тій же силі і швидкості руху смуги досліджені цифровим моделюванням розгін СМ і R лише з регуляторами швидкостей руху смуг на периферіях циліндра СМ і R. Працездатність систем керування підтверджена без регуляторів сил натягу смуги. Програма моделювання підлягає трансляції на мову конкретної керуючої ЕОМ рухом смуго приймального механізму і рулону.

1. Б. Дурняк, А. Забрамний, О. Сорочинський, Т. Яремків. Системи керування секціями багатодвигунних рулонних друкарських машин. // Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. Праць. Вип. 21.-Львів: УАД. – 2009. С. 3-11. 2. Дурняк Б. В., Стрепко І. Т., Сорочинський О. М., Забрамна І. А. Оптимізовані системи керування приводами постійного струму намотувальних вузлів рулонних ротаційних машин. // Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. Праць. Вип. 11.-Львів: УАД. – 2004. С. 3-19. 3. Дурняк Б. В., Сорочинський О. М., Забрамна І. А. Способи реалізації оптимізованих систем керування електроприводами намотувальних вузлів рулонних ротаційних машин // Наукові записки. Науково-технічний збірник. Вип. 9. – Львів:

УАД. – 2006.-с.56-70. 4. Дурняк Б. В., Сорочинський О. М. Визначення сил натягу смуг і стрічок друкарського матеріалу за моментами на валах секцій рулонних ротаційних машин // Зб. наук. пр. ПМЄ НАН України. Вип. 38. – К.,2007.-С.173-177.